

Procjena poroznosti gornjomiocenskih pješčenjaka temeljem interpretacije rezultata geofizičkih istraživanja u bušotinama na primjeru bušotine iz istočnoga dijela Dravske depresije

Ušić, Rafaela

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:195566>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-16**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Prije diplomski studij geološkog inženjerstva

**PROCJENA POROZNOSTI GORNJOMIOCENSKIH PJEŠČENJAKA
TEMELJEM INTERPRETACIJE REZULTATA GEOFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA
U BUŠOTINAMA NA PRIMJERU BUŠOTINE IZ ISTOČNOGA DIJELA
DRAVSKE DEPRESIJE**

Završni rad

Rafaela Ušić
G2255

Zagreb, 2023.



KLASA: 602-01/23-01/73
URBROJ: 251-70-15-232
U Zagrebu, 13.09.2023.

Rafaela Ušić, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/73, URBROJ: 251-70-15-231 od 31.05.2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

PROCJENA POROZNOSTI GORNJOMIOCENSKIH PJEŠČENJAKA TEMELJEM INTERPRETACIJE REZULTATA GEOFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA U BUŠOTINAMA NA PRIMJERU BUŠOTINE IZ ISTOČNOGA DIJELA DRAVSKE DEPRESIJE

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Doc.dr.sc. Iva Kolenković Močilac nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

Doc.dr.sc. Iva Kolenković
Močilac

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc.dr.sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

**PROCJENA POROZNOSTI GORNJOMIOCENSKIH PJEŠČENJAKA
TEMELJEM INTERPRETACIJE REZULTATA GEOFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA
U BUŠOTINAMA NA PRIMJERU BUŠOTINE IZ ISTOČNOGA DIJELA
DRAVSKE DEPRESIJE**

Rafaela Ušić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Dravska depresija se prostire na području površine oko 12000 kilometara kvadratnih, od kojih 9100 se nalazi unutar područja Republike Hrvatske. Stijene i naslage koje se nalaze na tom području su neogenske i kvartarne starosti. Ukupne debljine naslaga mogu biti veće od 7000 m u središnjem dijelu depresije, a najveća koncentracija naftnih polja i dubokih bušotina se nalazi približno između Našica i Donjeg Miholjca. Idući smjerom istoka i zapada njihov broj se smanjuje. Te stijene su kroz godine proučavane u različitom intenzitetu, a spominju se u radovima mnogih autora upravo zbog njihovog kompleksnog sastava i građe te zanimljivosti njihovog postanka kao i zbog velikih rezervi ugljikovodika koje se nalaze na tom području. Fokus ovog završnog rada je procjena poroznosti gornjomiocenskih pješčenjaka temeljem rezultata geofizičkih istraživanja dubokih bušotina B-1 i B-2 smještenima na području Donje Bukovice. Procjena poroznosti je provedena kao dio karakterizacije naslaga, što je jedan segment u razvoju geološkog modela, a same naslage su zanimljive s aspekta geotermalnog potencijala, podzemnog skladištenja CO₂ kao i podzemnog skladištenja energije, te mogućih neotkrivenih ležišta ugljikovodika.

Ključne riječi: *Dravska depresija, poroznost, gornji miocen, geofizička istraživanja, ugljikovodici, interpretacija*

Završni rad sadrži: 24 stranice, 9 slika, 25 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: doc. dr. sc. Iva Kolenković Močilac, dipl. ing. geol.

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Iva Kolenković Močilac, dipl. ing. geol.

izv. prof. dr. sc. Marko Cvetković, dipl. ing. geol.

izv. prof. dr. sc. Bruno Saftić, dipl. ing. geol.

Datum obrane: 20.09.2023., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	2
2.1. Stratigrafski odnosi	3
2.2. Strukturni odnosi	5
3. PROCJENA POROZNOSTI IZ GEOFIZIČKIH MJERENJA U BUŠOTINAMA	6
3.1. Procjena poroznosti interpretacijom zvučne karotaže	7
3.2. Procjena poroznosti interpretacijom neutronske karotaže	9
3.3. Procjena poroznosti interpretacijom karotaže gustoće	10
4. ULAZNI PODATCI I OPIS ANALIZE	12
5. REZULTATI	14
6. ZAKLJUČAK	17
7. LITERATURA	18
7.1. Objavljeni radovi	18
7.2. Internet izvori	19

POPIS SLIKA

Slika 2-1 Shematski prikaz rasprostranjenosti formacija, članova, litološkog sastava,	4
Slika 3-1 Spuštanje sonde kroz bušotinu pri izvođenju geofizičkih mjerenja u bušotini (http://rgn.hr/~joresko/nids_joresko/Prvi_dio/Uvod.pdf)	7
Slika 3-2 Rasprostiranje glavnog vala u bušotini (Bassiouni, 1994.).....	8
Slika 3-3 Sonda za zvučnu karotažu (dva odašiljača i 4 prijavnika) (Glover, 2012).	9
Slika 3-4 Skica uređaja za mjerenje CNL-metodom, kompenziran neutronsom karotažom	10
Slika 3-5 Skica klasične sonde za karotaže gustoće. (Šumanovac, 2012.).....	11
Slika 4-1 Ulazni podatci za analizu poroznosti temeljem mjerenja zvučne karotaže u programu „Interactive Petrophysics“	12
Slika 5-1 Rezultati analize poroznosti gornjomiocenskih naslaga u bušotini B-1 interpretacijom karotaže gustoće i neutronske karotaže u programu „Interactive Petrophysics“	16
Slika 5-2 Rezultati analize poroznosti gornjomiocenskih naslaga u bušotini B-2 interpretacijom zvučne karotaže u programu „Interactive Petrophysics“	16

1. UVOD

Unutar hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava, koji je smješten u Sjevernoj Hrvatskoj, razlikujemo četiri depresije i to od sjeverozapada prema jugoistoku: Mursku, Dravsku, Savsku te Slavonsko-srijemsku. U fokusu ovog završnog rada je područje Dravske depresije, točnije njezinog istočnog dijela. U istočnom dijelu Dravske depresije nalazi se najveća koncentracija naftnih polja i dubokih bušotina i to u području između Našica i Donjeg Miholjca. Idući od istoka prema zapadu, njihov broj se smanjuje, a najdalje istočno polje je Bizovac. Glavne kolektorske stijene su miocenski srednji klastiti i djelomice magmatiti, a istraživanjima su utvrđene vrlo velike debljine stijena (Hernitz et al., 1995).

Za procjenu potencijala za geoenergetsko iskorištavanje podzemlja na nekom području potrebno je poznavati stratigrafske i strukturne odnose, kao i detaljnu prostornu raspodjelu litološkog sastava stijenskih kompleksa te prostornu raspodjelu poroznosti i propusnosti, što će sve pomoći u definiranju stijenskih intervala od interesa. Iz tog razloga se vrše razna geofizička istraživanja koja pomažu u određivanju upravo tih parametara, a u centru promatranja ovog završnog rada je procjena poroznosti gornjomiocenskih pješčenjaka, na temelju geofizičkih istraživanja u bušotinama na primjeru bušotina B-1 i B-2 iz istočnog dijela Dravske depresije.

2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Hrvatski dio Panonskog bazena, u literaturi još poznat pod nazivom Hrvatski bazen, na čijem području se prostire Dravska depresija, nalazi se na jugozapadu tektonske jedinice višeg reda koja se naziva Panonski bazenski sustav (PBS). PBS je okružen planinskim lancima koji se sastoje od Alpa, Karpata i Dinarida, a paleogeografski zauzima veći dio središnjeg područja Paratethysa koji se rasprostirao jugozapadnim rubom u sjeverozapadnoj Hrvatskoj i sjevernoj Bosni (Rögl and Steininger, 1983).

Dravska depresija je strukturna depresija ispunjena formacijama neogenskih i kvartarnih stijena, uglavnom sedimentata uz pojave efuziva. One u središnjem dijelu dosežu dubine i do 7000 m, dok podinu Dravske depresije čine starije stijene znatno drugačijeg litološkog sastava. Riječ je o metamorfnim stijenama (amfibolitima, škriljancima i gnajsevima) te stijenama magmatskog porijekla (granitima i gabrima) koje su mezozojske i paleozojske starosti, a u literaturi su navedene pod nazivom „temeljno gorje“ (Malvić i Cvetković, 2013).

Između ova dva kompleksa stijena mjestimice se nalaze mezozojske karbonatne stijene, odnosno stijene koje se nazivaju „podlogom tercijara“. Pretežito su zastupljeni vapnenci i dolomiti, koji su vrlo često trošeni, te se mjestimice mogu naći breče i konglomerati. (Malvić i Cvetković, 2013). Općenito, u hrvatskom dijelu Panonskog bazena utvrđena je cikličnost sedimentacije unutar naslaga tercijara i kvartara, pa se tako razlikuju tri megaciklusa sedimentacije koji se povezuju s njegovim tektonskim razvojem (Saftić et al. 2003).

Naime, Sjevernohrvatski bazen, nastao je kroz dvije sukcesivne faze: sin-riftnu fazu i post-riftnu fazu. Sin-riftna faza razvoja PBS-a obilježena je podizanjem astenosfere, ekstenzijskim tektonskim stanjivanjem kore i izostatskim slijeganjem. U ovim uvjetima taložene su naslage prvog megaciklusa otnanško-karpatske do sarmatske starosti. Na području PBS-a, ekstenzija je započela za vrijeme otnanga i karpata, te se smatra da je bila potaknuta ekstruzijom Alpi prema istoku (Malvić i Cvetković, 2013). Ekstenzija je praćena lokalnim marinskim transgresijama (baden) i vulkanskom aktivnošću, koja je uvjetovala pojave efuziva. Raspadanje središnjeg Paratethysa započelo je za vrijeme najkasnijeg badena, kada je ovo paleo-more izgubilo vezu s Indopacifikom i paleo-Mediteranom.

U ovim uvjetima talože se breče i konglomerati proslojeni slojevima pješčenjaka i lapora te zatim vapnenci i glinoviti vapnenci, uz pojave efuzivnih stijena (Malvić i Cvetković, 2013).

Post-riftna faza razvoja PBS-a karakterizirana je termalnom supsidencijom bazena zbog hlađenja litosfere (Pavelić & Kovačić 2018; Royden, 1988). Ova faza obilježena je taloženjem debelih naslaga pijesaka i lapora u brakičnim uvjetima, unutar jezera Panon. Smatra se da se jezero kasnije raspalo na nekoliko manjih regionalnih slatkovodnih jezera, koja se podudaraju s današnjim depresijama Panonskog bazenskog sustava (Saftić et al., 2003). Za vrijeme pliocena i kvartara, uslijed bazenske inverzije, nastala je većina strukturnih zamki, veliki broj antiklinala koje se smatraju najpovoljnijim zamkama za ugljikovodike u ležištima (Malvić i Cvetković, 2013). Prema Paveliću i Kovačiću (2018), razdoblje kvartara predstavlja novu epizodu evolucije Sjevernohrvatskog bazena u kojoj dolazi do napredovanja prema kompresiji koja je aktivirala reversne i reaktivirala normalne rasjede s reversnim karakterom pomaka.

Iz danog pregleda geološkog razvoja ovog područja proizlazi da geološka građa Dravske depresije nije jednostavna, a radi se o veoma dubokoj depresiji s izdignutim strukturama unutar kojih se nalaze naftna i plinska ležišta.

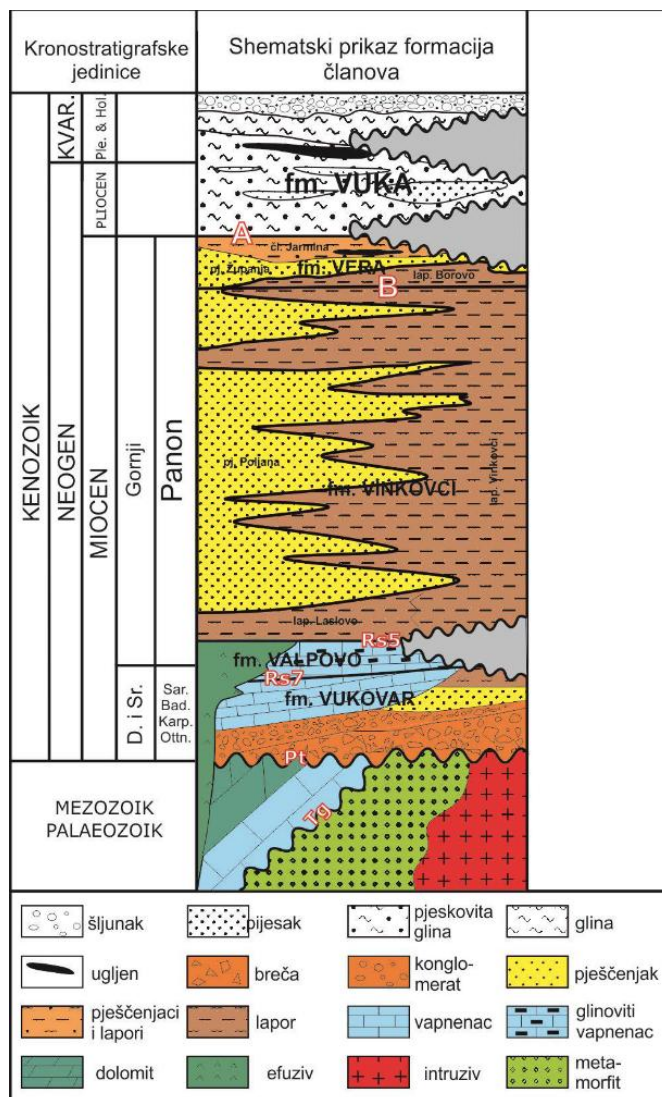
2.1. Stratigrafski odnosi

U istočnom dijelu Dravske depresije, donjo- i srednjemiocenske te starije donjopanonske naslage mogu se podijeliti na formaciju Vukovar i formaciju Valpovo (Hernitz, 1983). Formacija Vukovar se sastoji od krupnoklastičnih sedimenata (breča i konglomerata) u svom donjem dijelu, a pješčenjaka i vapnenaca u gornjem dijelu približno sarmatske starosti. Uz sedimente se pojavljuju i efuzivi. Formacija Valpovo, koja obuhvaća mlađe sarmatske i najstarije panonske naslage je uglavnom predstavljena vapnencima, a i dalje se pojavljuju efuzivi (slika 2-1). Reperni horizont „Tg“ ili EK-marker „Pt“ čini granicu sa stijenama podloge. EK-marker Rs5 odvaja formaciju Valpovo od mlađe gornjopanonske formacije Vinkovci, dok EK-marker Rs7 predstavlja granicu između formacije Vukovar i formacije Valpovo (Hernitz, 1983; Malvić i Cvetković 2013).

Neposredno iznad EK-markera Rs5, nalaze se lapori pod nazivom lapor Laslovo i lapor Vinkovci. Prema mlađim naslagama, mlađe panonske starosti, formacija Vinkovci

obilježena je izmjenom lapora Vinkovci i Osječkih pješčenjaka (slika 2-1) (Malvić i Cvetković, 2013).

EK marker B čini granicu između formacije Vinkovci i mlađe formacije Vera, koja se sastoji od lapora Borovo u baznom dijelu, a u vršnom dijelu su taloženi pijesci člana Županja, pješčenjaci te pijesci i lapori člana Jarmina (slika 2-1). Iznad člana Jarmina nalazi se EK- marker A. Naslage pliocenske i kvartarne starosti pripadaju formaciji Vuka. Formacija Vuka se sastoji od gline, siltova i pijesaka u baznom dijelu te šljunaka i pijesaka u gornjem dijelu (Malvić i Cvetković, 2013).



Slika 2-1 Shematski prikaz rasprostranjenosti formacija, članova, litološkog sastava, elektrokarotažnih markera i repera u istočnom dijelu Dravske depresije (Malvić i Cvetković, 2013), preuzeto iz diplomskog rada Mustać, 2020).

2.2. Strukturni odnosi

U Panonskom bazenskom sustavu ekstenzija je započela u doba otnanga i karpata s razvojem jezerskih i fluvijalnih okoliša (Malvić i Cvetković, 2013). Za vrijeme marinske transgresije današnje gore u sjevernoj Hrvatskoj (npr. Psunj i Medvednica) predstavljale su izolirane otoke u doba srednjeg badena. (Malvić i Cvetković, 2013) Prva faza transtenzije započela je u badenu uz naglašenu tektonsku aktivnost koja je dovela do formiranja akomodacijskog prostora, polugraba i sl. (Rögl i Steininger, 1984). U kasnom badenu otvara se veza s Indopacifikom, uslijed rasta morske razine, što dovodi do potapanja uzdignutih blokova u većini dijelova Dravske depresije (Malvić i Cvetković, 2013). Razdoblje srednjeg miocena okarakterizirano je krajem ekstenzije te početkom post-ekstenzijske faze (Lučić et al., 2001) u kojoj je došlo do stanjenja kore plašnim dijapirizmom (Stegena et al., 1975) te je ekstenzijsko naprezanje prešlo u kompresijsko. Time je započela prva transpresijska faza (Malvić i Velić, 2011).

Druga faza transtenzije započela je u panonu (Malvić i Velić, 2011) kada je Dravska depresija je bila brakično jezero okarakterizirano povremenim taloženjem turbidita, koji su prekidali pelitnu bazensku sedimentaciju (Lučić et al., 2001). Turbiditni događaji koji su se povremeno odvijali u istočnom dijelu značajno su utjecali na sedimentaciju u okolišima delte i prodelte.

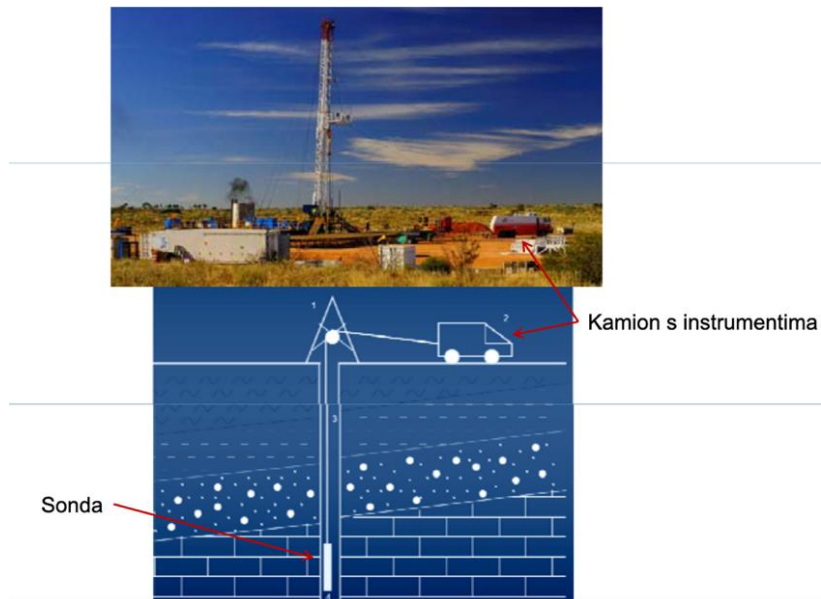
Zbog takvih uvjeta vrlo je teško korelirati litostratigrafske jedinice prisutne na tom području, stoga se nomenklatura u istočnom i zapadnom dijelu hrvatskoga dijela Dravske depresije značajno razlikuje. (Malvić i Cvetković, 2013).

Druga transpresijska faza odvijala se u doba pliocena i kvartara. (Malvić i Cvetković, 2013). Tada je došlo do inverzije bazena što je za posljedicu imalo nastanak antiklinala, odnosno strukturnih zamki za nakupljanje ugljikovodika u ležištima, te postojanje struktura kakve danas nalazimo u Panonskom bazenu. Sedimentacija se nastavila u lakustrinskim uvjetima, ali na manjim područjima, a daljnje zapunjavanje bazena dovelo je do taloženja u kopnenim aluvijalnim i močvarnim okolišima, uz pojave lesa.

3. PROCJENA POROZNOSTI IZ GEOFIZIČKIH MJERENJA U BUŠOTINAMA

Geofizička mjerenja koja se provode duž kanala bušotine, radi određivanja fizičkih svojstava ovisnih o litološkim i geološkim svojstvima naslaga, nazivaju se karotažom. Izraz dolazi od francuske riječi „carotte“ što znači mrkva“, zbog sličnosti oblika sonde s oblikom mrkve i činjenice da se sonda izvlači ”iz zemlje” (Šumanovac, 2012). U upotrebi je također i engleski izraz „logging“. Mjerenja se izvode spuštanjem sonde u kojoj se nalaze odgovarajući odašiljači i prijemnici, ovisno o namjeni sonde, u bušotinu. Podaci se zatim šalju u instrumente na površini putem kabla, gdje se primaju, obrađuju, bilježe i pohranjuju. Kod većine metoda, sonda se spušta na dno bušotine, a mjerenje sondom započinje izvlačenjem sonde prema površini (slika 3-1). Ovim mjerenjima mogu se precizno razdvojiti slojevi prema litološkim svojstvima, no samo uz druge podatke prikupljene pri bušenju (litološka odredba jezgara te uzoraka sa sita), zatim se može odrediti stanje probušenih naslaga (raspucalost, poroznost, kompaktnost, itd.), kao i udio plinova i tekućina koji se nalaze u šupljinama (voda, nafta, prirodni plin) (Šumanovac, 2012).

U ovom završnome radu, procjena poroznosti je provedena kao dio karakterizacije naslaga, što je ujedno i jedan segment u razvoju geološkog modela, a same naslage su zanimljive s aspekta geotermalnog potencijala, podzemnog skladištenja CO₂ kao i podzemnog skladištenja energije, te mogućih neotkrivenih ležišta ugljikovodika. Interpretirana je poroznost gornjomiocenskih pješčenjaka u svrhu procjene njihova geoenergetskog potencijala. Pri tome su interpretirane tri tzv. „karotaže poroznosti“, a to su: zvučna karotaža, neutronska karotaža i karotaža gustoće.



Slika 3-1 Spuštanje sonde u bušotinu pri izvođenju geofizičkih mjerenja u bušotini (http://rgn.hr/~joresko/nids_joresko/Prvi_dio/Uvod.pdf)

3.1. Procjena poroznosti interpretacijom zvučne karotaže

Osnovni princip mjerenja zvučnom karotažom je mjerenje vremena prolaska elastičnog longitudinalnog vala na određenom putu (Δt) tj. između odašiljača i prijemnika na sondi. Postoje dvije vrste elastičnih valova koji se šire različitim brzinama i amplitudama, najprije kroz isplaku u bušotini, a zatim kroz formaciju. Longitudinalni ili P-valovi se rasprostiru većom brzinom od ostalih vrsta valova, a čestice sredstva kroz koje se val širi osciliraju u smjeru prostiranja vala. Ako je poznat litološki sastav, mineralni sastav, a mjereno je vrijeme prolaska vala na određenom putu, može se odrediti poroznost, (ϕ), pa je osnovna namjena karotaže upravo određivanje poroznosti stijena. Empirijska formula prema navedenome glasi :

$$\frac{1}{v_f} = \frac{f}{v_t} + \frac{1-f}{v_m} ;$$

gdje su:

v_f - brzina rasprostiranja valova u stijeni (m/s),

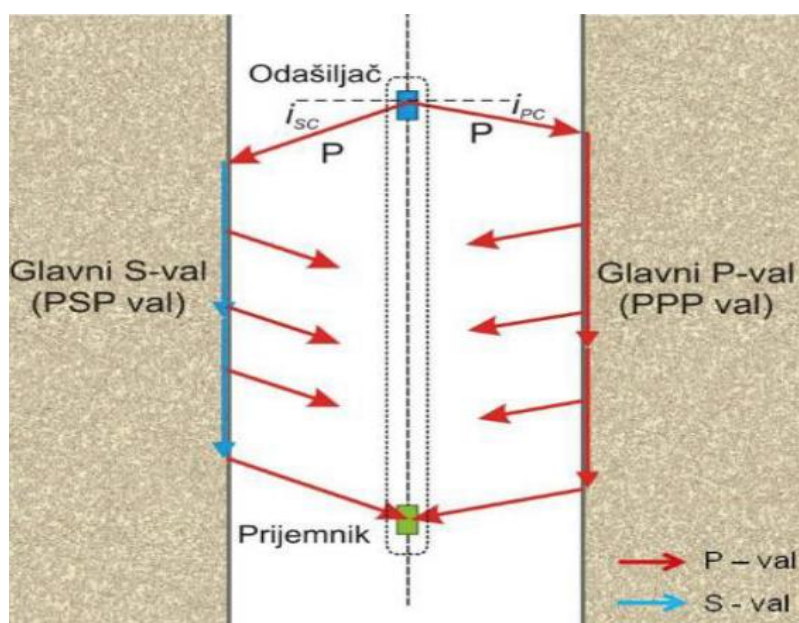
v_t - brzina rasprostiranja vala kroz filtrat isplake – odnosno u fluidu koji zasićuje stijenu (m/s),

v_m - brzina vala u matrici (m/s), odnosno brzina širenja vala kroz mineralna zrna stijene.

Valja naglasiti da ova jednađba daje zadovoljavajuće rezultate za čvrste, konsolidirane stijene dok je u slučaju nekonsolidiranih stijena potrebno provesti odgovarajuće popravke.

Za mjerenje brzine longitudinalnih elastičnih valova u isplaci i stijeni koriste se sonde za zvučnu karotažu koje se smještaju centralno u bušotinu u kojoj se nalazi isplaka.

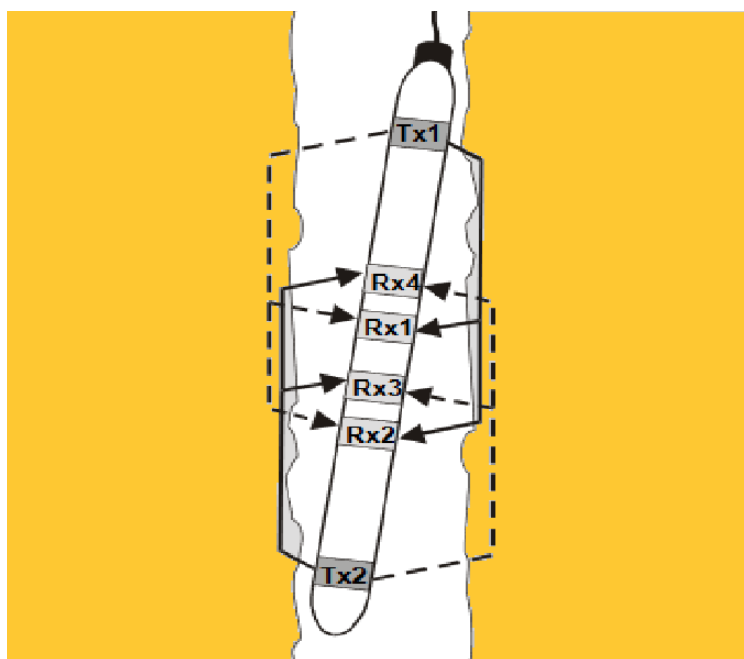
Glavni dijelovi sonde za zvučnu karotažu su odašiljač zvučnih valova i prijemnici. Odašiljač je uređaj koji generira longitudinalne valove u bušotini (budući da se transversalni valovi ne šire kroz isplaku, jer tekućine nisu podložne smičnom naprezanju), a prijemnik je uređaj koji registrira zvučne valove. Početna izvedba sonde sastojala se od odašiljača i prijemnika, dok moderne sonde imaju dva odašiljača u kojima se električni titraji pretvaraju u vibracije i dva para prijemnika u kojima se vibracije pretvaraju u električne titraje. Mjeri se vrijeme prostiranja vala na najkraćem putu, a to će se dogoditi po zakonima loma elastičnih valova, po putu lomljenog vala (slika 3-2) (Šumanovac, 2012).



Slika 3-2 Rasprostiranje glavnog vala u bušotini (Bassiouni, 1994.)

Mjeri se razlika u vremenu nailaska valova na dva para prijemnika, pri čemu je svaki od odašiljača spojen sa bližim prijamnikom i daljim prijamnikom. Obzirom da je sonda postavljena u centru osi bušotine, svaki signal koji se prenosi pomoću sonde prvo prolazi kroz isplaku, zatim se refraktira na stijenkama bušotine pri čemu zvuk prolazi kroz

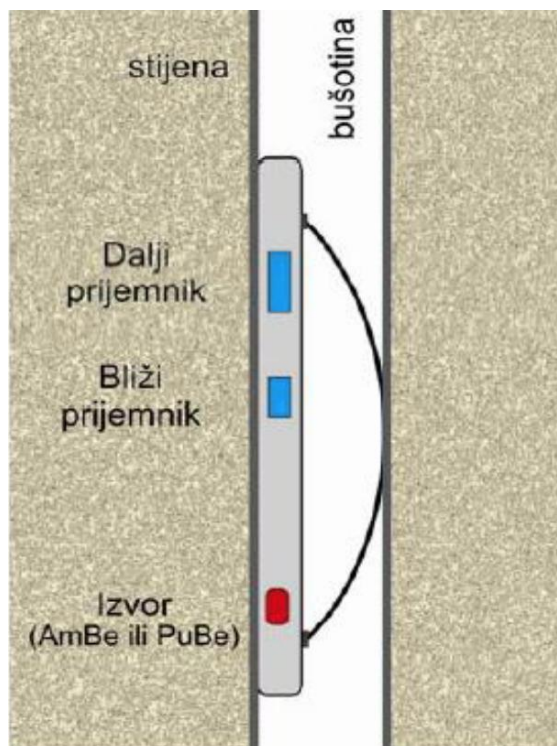
formaciju manjom odnosno kritičnom brzinom te se tom brzinom zatim refraktira nazad u isplaku i detektira se na uređaju. Značajan utjecaj u cijelom mjerenju ima isplaka, čije se djelovanje može eliminirati samo ako se koristi jedan odašiljač s dva prijarnika. Pri tome se mjeri razlika u vremenu potrebna da zvučni val pristigne od daljeg do bližeg prijarnika. Aritmetička sredina dviju razlika u vremenu, s odašiljača koji su pozicionirani jedan u gornjem dijelu, a drugi u donjem dijelu bušotine, odstranjuje utjecaj položaja sonde u bušotini te nije potrebno sondu postaviti u os bušotine čime se pojednostavljuje i ubrzava mjerenje. (Šumanovac, 2012).



Slika 3-3 Sonda za zvučnu karotažu (dva odašiljača i 4 prijarnika) (Glover, 2012).

3.2. Procjena poroznosti interpretacijom neutronske karotaže

Neutronska karotaža je jedna od metoda karotažnih istraživanja kojima se mjere fizikalna svojstva nabušenih stijena i fluida u porama. Kao izvori brzih neutrona početne energije 4MeV koriste se kemijski izvori americij-berilij (Am-Be) ili plutonij-berilij (Pu-Be) (slika 3-4). Metoda se temelji na činjenici da je vodik izrazito učinkovit u usporavanju brzih neutrona, stoga je usporavanje brzih neutrona povezano s postojanjem jezgre vodika u stijeni (Rider, 1996). Također, mjerenje poroznosti pomoću detekcije vodika je jako otežano u sloju zasićenom plinom, koji će dati manje vrijednosti poroznosti zbog male koncentracije vodika u prirodnome plinu u odnosu na njegov sadržaj u vodi i nafti (Rider, 1996, Šumanovac 2012).

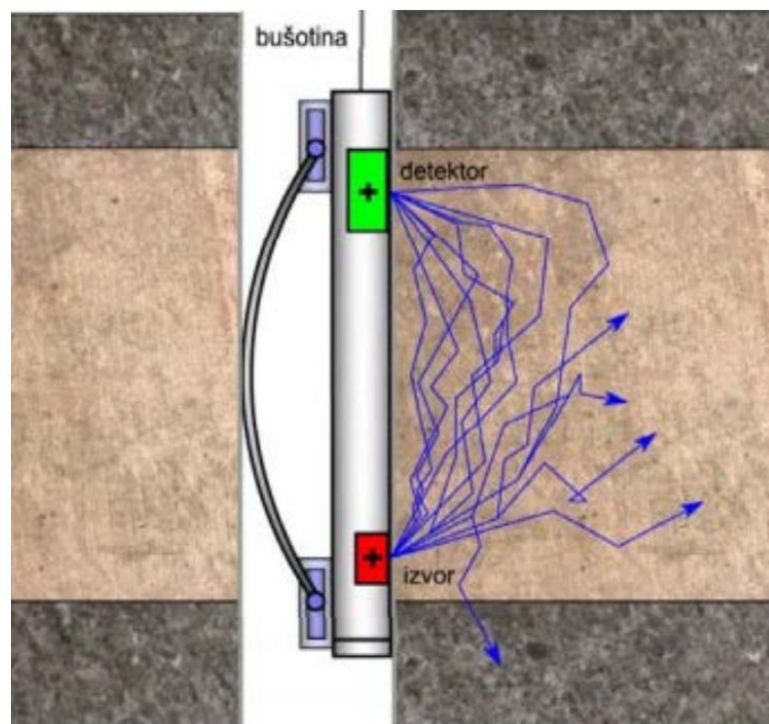


Slika 3-4 Skica uređaja za mjerenje CNL-metodom, kompenziran neutronskom karotažom
(Šumanovac, 2012.)

3.3. Procjena poroznosti interpretacijom karotaže gustoće

Pri snimanju karotaže gustoće koristi se sonda na kojoj se nalazi usmjereni izvor γ -zraka i detektor γ -zraka. Usmjerenim izvorom γ -zraka srednje jake energije (0,2 do 2 MeV) djeluje se na stijene u kojima zatim dolazi do atenuacije energije upadnih γ -zraka, uslijed učinka Comptonovog raspršenja, a oslabljeno zračenje se registrira na detektoru. Energija zračenja se smanjuje proporcionalno s gustoćom naslaga, odnosno gustoćom elektrona, te se ovom karotažom dobivaju kontinuirani podaci o elektronskoj gustoći stijena (eng. bulk density)

Zbog male dubine prodiranja, za vrijeme mjerenja sonda je pritisnuta uz zid kanala bušotine pomoću opruge ili papuče (slika 3-5.). Kompenzirana karotaža gustoće (CDL) koristi dva detektora na različitim udaljenostima od izvora. Pomoću dva detektora smanjuje se utjecaj isplačnog obloga i nepravilnosti duž stijenki bušotine (Šumanovac, 2012, Rider, 1996).

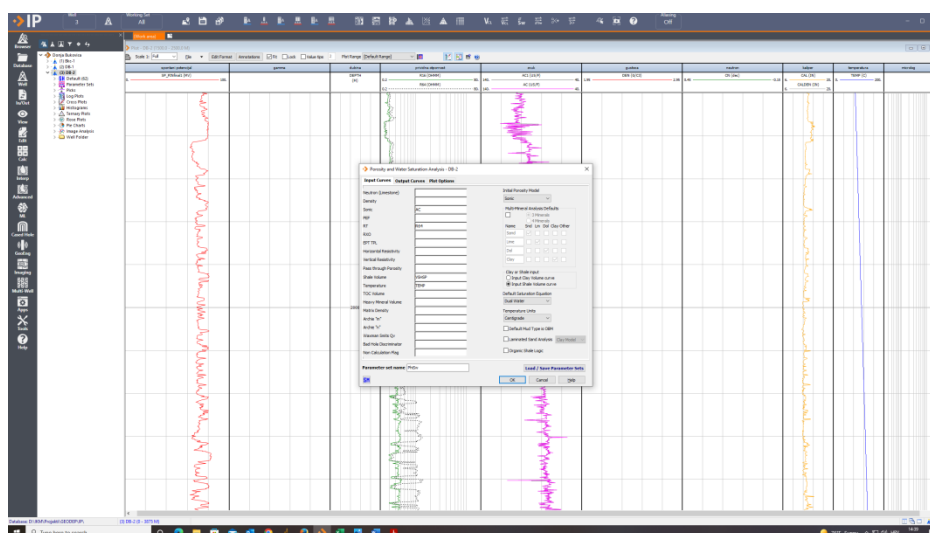


Slika 3-5 Skica klasične sonde za karotaže gustoće. (Šumanovac, 2012.)

4. ULAZNI PODATCI I OPIS ANALIZE

Prije no što se pristupilo interpretaciji, krivulje dobivene geofizičkim istraživanjima bilo je potrebno uređivati i spajati . Sva obrada rezultata bila je vršena u programu „Interactive Petrophysics“. Krivulje koje je bilo potrebno obraditi bile su krivulje karotaže zvuka, karotaže gustoće, neutronske karotaže te krivulja spontanog potencijala. Karotaža prirodne radioaktivnosti općenito ne daje zadovoljavajuće rezultate te u sklopu ovog završnog rada nije bila uzeta kao relevantna za interpretaciju rezultata. To je često slučaj u hrvatskome dijelu Panonskog bazena, jer su pješčenjaci najčešće litične grauvake s dosta alkalijskih feldspata, odnosno minerala glina koji nastaju njihovim trošenjem te karotaža prirodne radioaktivnosti često ne daje zadovoljavajuće rezultate jer su i pješčenjaci i lapori radioaktivni.

Primjer ulaznih podataka za bušotinu B-2 dan je na slici 4-1.



Slika 4-1 Ulazni podatci za analizu poroznosti temeljem mjerenja zvučne karotaže u programu „Interactive Petrophysics“

Nakon unošenja podataka i krivulja u program „Interactive Petrophysics“, određene su granice intervala od interesa, odnosno intervala u kojem se pojavljuju miocenski pješčenjaci. Kao gornja granica uzet je EK marker α koji predstavlja granicu gornjomiocenskih i pliocenskih sedimenata. On se ne interpretira kao ostali EK-markeri u miocenskom sedimentnom slijedu, na temelju specifičnih motiva krivulje prividne električne otpornosti, nego se definira prema krivulji otpornosti na prijelazu zone izražene varijabilnosti u zonu smanjene varijabilnosti otpornosti, do čega dolazi zbog promjene

facijesa, odnosno zbog prijelaza iz dubljevodne lakustrinske sedimentacije u aluvijalnu pri čemu su izražene češće promjene taložnog okoliša i litološkog sastava.

EK marker α interpretiran je na dubini od 1384 m u bušotini B-1, a na 1385 m u bušotini B-2. Podinsku granicu čini EK marker Rs7, definiran prema porastu vrijednosti otpornosti pri prelasku lapora u vapnence Vukovarske formacije (slika 2-1). Interpretirani prijelaz iz lapora u vapnence je potvrđen pregledom Operativnih geoloških dijagrama i opisom uzoraka sa sita u Geološkim izvješćima bušotina B-1 i B-2. EK marker Rs7 u bušotini B-1 interpretiran je na 3546 m, a u bušotini B-2 na 3586 m.

Za bušotinu B-1 analiza je provedena interpretacijom krivulja karotaže gustoće i neutronske karotaže, a za B-2 samo temeljem krivulje zvučne karotaže.

5. REZULTATI

Rezultati analiza provedenih u softveru Interactive Petrophysics dani su na slici 5-1 za bušotinu B-1 i slici 5-2 za bušotinu B-2. Može se primijetiti da su izračunate dvije vrijednosti poroznosti: PHIT i PHIE.

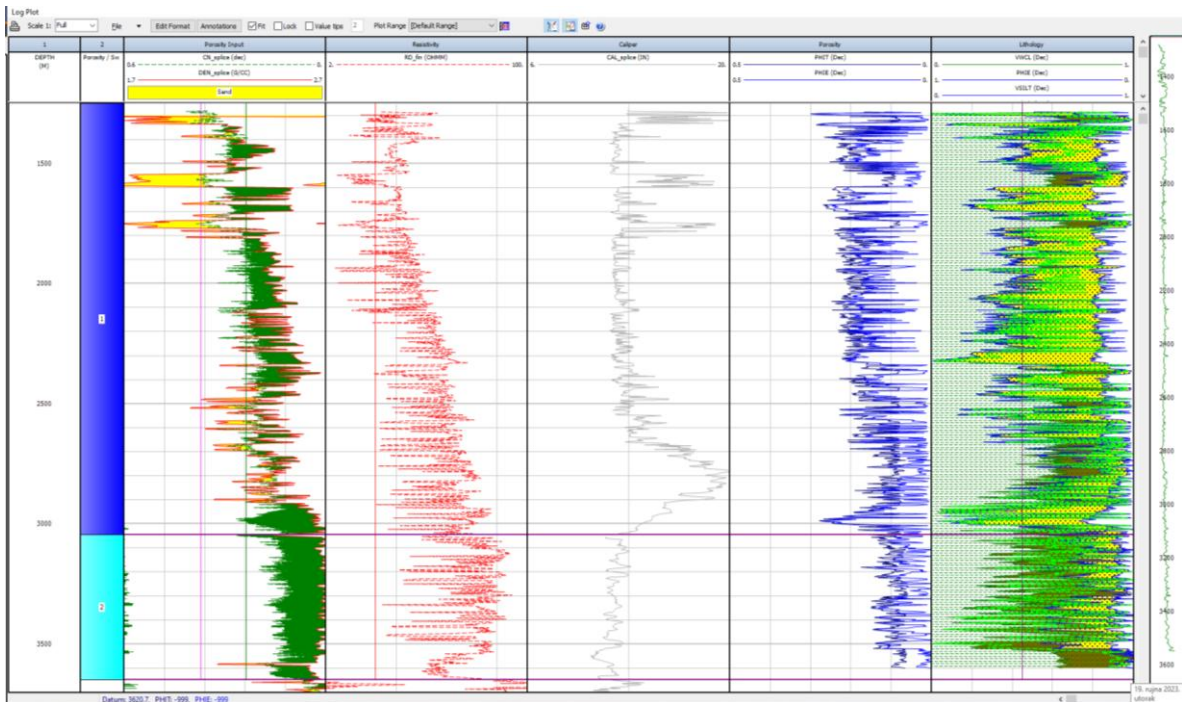
PHIT vrijednost je ukupna poroznost koja uzima u obzir poroznost prisutnog šejla od 10% koliko je postavljeno u softveru da je poroznost šejla na danj dubini, a prema Dutta et al. (2009). U tom smislu je PHIT parametar koji se treba uzimati s oprezom, što se osobito vidi na slici 5-1 u intervalu od približno 2620 do 2950 m, gdje se uočava da su vrijednosti PHIT-a manje tamo gdje linija SP-a pokazuje jače zaglinjenje/zalaporenje. To je upravo rezultat takvog pristupa gdje su nepropusni intervali prema SP-u definirani kao glinjaci (šejlovi) s 10% poroznosti. Prema tome, relevantna krivulja bi bila PHIE koja predstavlja efektivnu poroznost, odnosno samo onaj dio poroznosti koji je vezan za pješčenjake, odnosno litologiju koja se definira kao propusna za fluide.

Može se primijetiti da vrijednosti poroznosti u bušotini B-1 pokazuju veću varijabilnost od vrijednosti poroznosti u bušotini B-2.

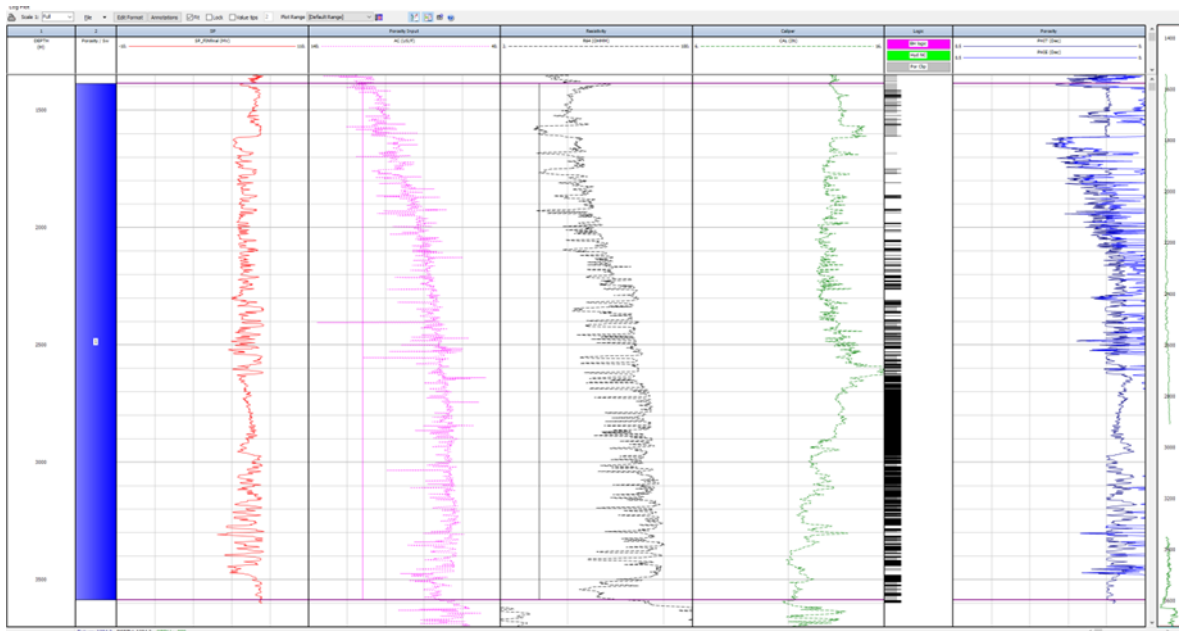
U bušotini B-1 najviša zabilježena vrijednost poroznosti iznosi 19,39%, a minimalna vrijednost iznosi 10,89%. U bušotini B-2 maksimalna poroznost iznosi 22,5%, a minimalna poroznost 1,179%.

U bušotini B-1 (slika 5-1) može se kod karotaže gustoće i neutronske karotaže uočiti kako je u tri plića intervala (na približno 1300-1325 m, 1540-1600m i 1735-1780 m) gustoća smanjena, a neutronska poroznost povećana, a prema krivulji otpornosti se može zaključiti kako je riječ o intervalu lapora, što nije u skladu s vrijednostima poroznosti dobivenim ovim dvjema karotažama. Uzrok tome je veliko povećanje promjera bušotine, što je vidljivo na krivulji kalipera (slika 5-1). Dubinski zahvat karotaže gustoće i zvučne karotaže je jako mali i kada je promjer bušotine povećan u odnosu na projektirani promjer, mjerenja ovih sonda u određenoj mjeri odražavaju svojstva isplake, što ima veliki utjecaj na procijenjenu poroznost (Rider, 1996).

U bušotini B-2 (slika 5-2) može se uočiti trend smanjenja vremena potrebnog zvučnom valu da stigne od odašiljača do prijamnika, drugim riječima val ubrzava s dubinom, što ukazuje na povećanje stupnja kompaktacije stijena s dubinom zalijeganja. Na temelju procijenjenih vrijednosti poroznosti, može se uočiti kako se s porastom dubine vrijednost poroznosti načelno smanjuje (slika 5-2), što se donekle uočava i na dijagramu analize poroznosti B-1 (slika 5-1). Poroznost ovisi o stupnju kompaktacije i s povećanjem dubine zalijeganja utjecaj kompaktacije dolazi do izražaja. Ipak, to je tek generalni trend i kompaktacija nije jedini čimbenik koji utječe na poroznost.



Slika 5-1 Rezultati analize poroznosti gornjomiocenskih naslaga u bušotini B-1 interpretacijom karotaže gustoće i neutronske karotaže u programu „Interactive Petrophysics“



Slika 5-2 Rezultati analize poroznosti gornjomiocenskih naslaga u bušotini B-2 interpretacijom zvučne karotaže u programu „Interactive Petrophysics“

6. ZAKLJUČAK

Procjene poroznosti interpretacijom karotažnih mjerenja predstavljaju izazovan zadatak. Pri analizi poroznosti sedimenata bušotine B-1, do problema u interpretaciji dolazi prilikom uspoređivanja krivulja SP-a s linijom električne otpornosti (Ra) i linijom kalipera. U intervalu od približno 2625 do 2970 m, oblik krivulja ne odgovara uobičajenom obliku te dolazi do odstupanja i nepodudarnosti. Linija električne otpornosti i linija kalipera pokazuju određenu varijabilnost propusnosti naslaga u navedenom intervalu, što nije vidljivo na krivulji SP-a te se ona u ovom slučaju smatra nepouzdanom, odnosno interpretacija volumnog udjela šejla na temelju SP-a (VShSP), kao i vrijednost poroznosti koja uzima u obzir krivulju Vsh (PHIEFF) smatra se nepouzdanom u ovom intervalu. U bušotini B-2 u plićem dijelu intervala na dubini od približno 2230 do 3375 m, postoji nepodudaranje krivulja SP i Ra s krivuljom kalipera.

Zaključno, prilikom istraživanja je najbolje koristiti sve tri karotaže poroznosti da bi se dobili najpouzdaniji podatci. Dostupnost samo jedne krivulje je vrlo problematična, jer su pojedini intervali krivulja karotaže ponekad nepouzdaniji zbog pogrešaka u mjerenju ili zbog problema malog dubinskog zahvata sonda koji utječe na rezultate mjerenja. Kako bi se utvrdili intervali na kojima mjerenja imaju smanjenu pouzdanost, koriste se drugi podatci iz bušotine - Operativni geološki dijagram i opis jezgri i uzoraka sa sita u geološkim izvješćima bušotine. Također, za kalibraciju treba koristiti rezultate mjerenja poroznosti na uzorcima jezgre koji su pouzdaniji od procjena temeljem interpretacije karotaže.

7. LITERATURA

7.1. Objavljeni radovi

Dutta, T., Mavko, G., Mukerji, T. (2009): Compaction trends for shale and clean sandstone in shallow sediments, Gulf of Mexico. *The Leading Edge*, May 2009, 590-596.

Hernitz, Z. (1983): Dubinski strukturno – tektonski odnosi u području istočne Slavonije. Disertacija, Nafta, Zagreb, 219 str.

Hernitz Z., Velić J., Barić G. (1995): Podrijetlo ugljikovodika u istočnome dijelu dravske depresije (istočna hrvatska), *Geologia Croatica*, 48/1, 87-95

Lučić, D., Saftić, B., Krizmanić, K., Prelogović, E., Britvić, V., Mesić, I., Tadej, J. (2001): The Neogene Evolution and Hydrocarbon Potential of the Pannonian Basin in Croatia. *Marine and Petroleum Geology*, 18/1, 133-147 str.

Malvić T., Cvetković M. (2013): Nafta, Korelacija litostratigrafskih jedinica u Dravskoj depresiji (hrvatski i mađarski dio), 64, 34-38

Malvić, T., Velić, J. (2011): Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations. Rijeka: Intech, 215-238 str.

Pavelić D., Kovačić M., 2018., *Marine and Petroleum Geology, Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia)*, 455-469

Rögl, F., Steininger, F.F. (1984): Neogene Paratethys, Mediterranean and Indo–Pacific seaways. Implications for the paleobiogeography of marine and terrestrial biotas. P. Brenchley (ed.), *Fossils and Climate*, John Wiley & Sons, Chichester Ltd., 171-200 str.

Royden, L.H. (1988): Late Cenozoic Tectonics of Pannonian Basin System. *AAPG Memoir-The Pannonian Basin*, 27-48 str.

Rider, M. (1996): *The Geological Interpretation of Well Logs*, Gulf Publishing Company, 280 str.

Saftić B., Velić J., Sztano O., Juhasz G., Ivković Ž., 2003., Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin, Geologia Croatica, 56/1, -101-122

Šumanovac, F., (2012): Osnove geofizičkih istraživanja, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 331 str.

7.2. Internet izvori

<https://www.azu.hr/istra%C5%BEivanje-i-eksploatacija/geolo%C5%A1ki-pregled-kopna/>

http://rgn.hr/~joresko/nids_joresko/Prvi_dio/Uvod.pdf